氣候變遷對農作物生產之影響
第4章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及
因應策略 59-71, 1998

第四章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略

黃益田　蕭淑芬
臺灣省桃園區農業改良場

摘要……60
壹、前言……60
貳、病原的發生、繁衍與流行……61
參、對病害發生之影響……63
肆、因應策略……65
伍、結語……66
陸、引用文獻……66
英文摘要……71

第四章　全球氣候變遷對農作物病害發生影響及因應策略

黃益田　蕭淑芬
臺灣省桃園區農業改良場

摘　　要

本文主要介紹近年來有關氣候變遷對農作物病害影響方面之研究成果及趨向。主要內容包括引起溫室效應之大氣成分二氧化碳、臭氧及紫外線對病原之效應；氣候變遷對病害發生與流行之影響。氣候變遷因素二氧化碳、臭氧及紫外線對寄主和病原具直接和間接的作用而左右其發病程度。紫外線可抑制胞子發芽、抑制產胞、增加病原發生變異的機會或影響寄主產生生理生化反應，造成植株對病原的感受性有所不同。在病害流行方面，利用模擬模式研究氣候變遷對病害所造成之影響，顯示病害發生之風險性因地而異；分析聖嬰現象對病害之影響，發現小麥銹病與南方振盪指數(SOI)有凝聚關係。此外，並介紹因應氣候變化之對策，以及未來研究之方向。

關鍵詞：全球氣候變遷，農作物病害，發生，因應策略。

壹、前　言

呂氏春秋審時篇云：〝凡農之道，厚(候)之為寶〞，可見氣候對農業生產之重要，自古而然。然而，自古至今，氣候一直在變動不息，不但季節上之變化每年不同，而且前後十年或百年之間，氣候之變化亦皆不相一致(劉, 1992)。年別間之氣候變化，造成農作物收穫有豐歉之別。部分凶歉直接由氣候異常所致，如霜害、潮風害、颱風、焚風害、冷害、雨水害等。至於氣候變異(climatic variability)對病害發生之影響，其例頗多，如1930年代之玉米細菌性萎凋病(Stewart's bacterial wilt)；1943年孟加拉大飢荒，係由於氣候條件適於胡麻葉枯病菌*Helminthosporium oryzae*繁衍，持續2個月，造成流行，以致二百萬人餓死。在本省，水稻病害亦受氣候影響；早在1935年，Sawada即報導氣候條件影響稻熱病之消長。1980年，黃氏報導稻熱病發生之輕、中、重與地區之氣候條件有關。近年來，鄰近之日本在1993年平成之大凶作，部分原因係氣候異常造成稻熱病之發生所致，如東北地方南部宮城縣，葉稻熱病比平年增加210%，穗稻熱病增加265%。北日本之福島縣，葉稻熱病增加198%，穗稻熱病增加333%。

一般而言，氣候對病害之影響研究多偏重日別間之天氣條件而較忽略年別間之氣候變異。因此，氣候變異對植物病害影響之研究之文獻甚少。反之，在氣象變數(meteorological variables)對傳播(dissemination)、感染(infection)、潛伏(incubation)、產胞(sporulation)及病原在田間之存活(survival)及寄主對病勢發展之反應等諸種特定效應之研究則較多(Colhoun, 1973; Jeger, 1987; Rotem, 1987; Schrodter, 1975)。

至於工業革命以後，人類活動改變了地

球空氣層的化學特性，其所引起全球氣候變遷之影響，已普遍受到全球的關注。1991年，美國Bruck and Shafer即已指出，氣候變遷對作物方面病害之影響及環境變遷中病害管理研究，有助於對未來病害防治等策略及決策之形成。然而，本省植物病理界在這方面之研究，尚有待積極規劃進行。本文藉此重點綜述有關學者之報告以供參考。

貳、病原的發生、繁衍與流行

環境包含所有影響病害發展的生物性(biotic)及非生物性(abiotic)之生物圈因子(biospheric factors)。其錯綜複雜的關係可由圖1來表示。Coakley以擴張的病害三角(expanded disease triangle)來闡釋大氣化學組成的變遷，如何直接及間接地影響寄主(host)、病原(pathogen)交感作用，以及描述生態系回饋現象(ecosystem feedbacks)。氣候變化因素對植物具有直接的生物學效應，這些效應直接或間接地影響植物病害的發生率(incidence)或發病率(severity)(Manning and Tiedemann, 1995)。病勢發展(disease development)是增、是減或不變，有賴於污染物/寄主/病原之交感作用；生物圈的變遷(biospheric change)對病蟲害發生之重要性，部分係因變遷之速度(speed)及性質(nature)而定。

在全球氣候變遷中的生物圈因子(biospheric factors)包括酸雨(acid rain)、二氧化碳(carbon dioxide)、臭氧(ozone)及紫外線-B(UV-B)。關於這些因子對寄主與病原交感作用之機制未經深入探究。個別因素對病原或寄主之效應，則已見諸報告。

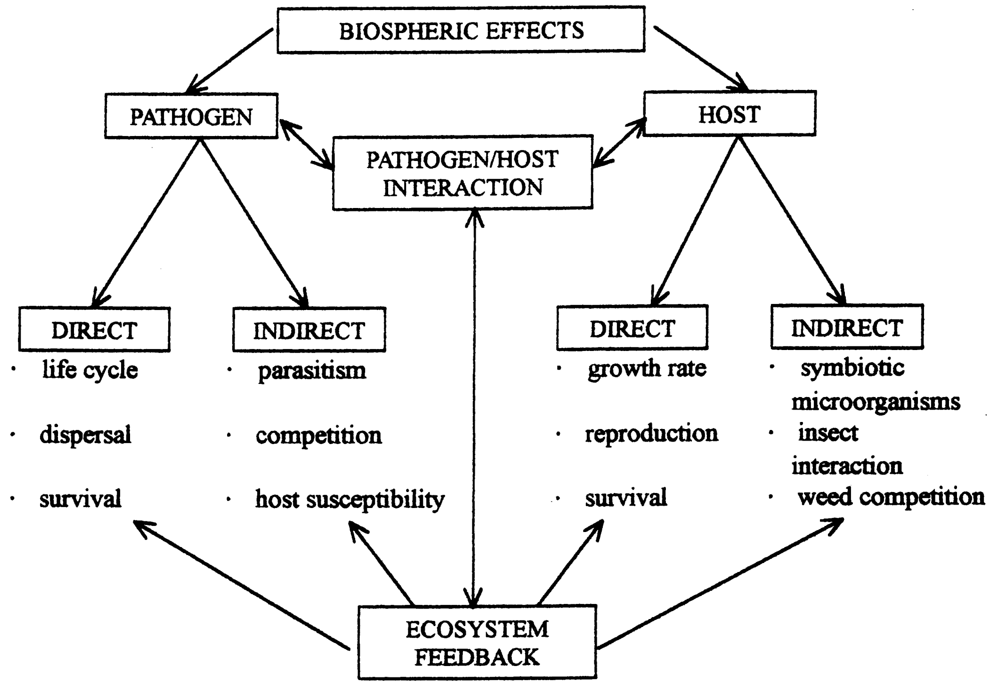

Fig.1. An expanded disease triangle showing the direct and indirect effects of biospheric factors on the pathogen, host, and host/pathogen interactions, including feedback from these interactions.(Coakley, 1995)

一、紫外線之效應

空氣傳染性病害病原菌胞子之產生、釋放、傳播、著落、發芽、附著器之形成，到侵入寄主之過程，除受寄主本身之影響外，侵入前之行動亦受氣候因素之影響(謝及梁, 1978)。在氣候變遷的因子中，紫外線對病原的影響研究甚多。紫外線對稻熱病分生胞子之活力(viability)、產胞(sporulation)、變異(mutation)之效應，探究紫外線-B(UV-B)放射處理稻熱病菌 *Magnaporthe grisea* 之生物學反應，顯示胞子及產胞(sporulation)受每日紫外線水平之負面影響。照射4小時，胞子致死率各分離株(isolate)在15~95 %範圍。在非致死輻射(non-lethal irradiation)下，也可增強色素基因(pigment gene)之突變，表示UV-B突變效應對病菌族群具最大的衝擊(Finckh *et al.*, 1995; Kato *et al.*, 1993, 1994; Kodama *et al.*, 1992; Leung *et al.*, 1995; Olszyk *et al.*, 1996)。

許多實驗證明，紫外線可抑制胞子發芽，如橡膠枯萎病菌 *Microcyclus ulei*，在UV照射60分鐘下可抑制其胞子發芽(LebaiJuri *et al.*, 1997)；茶餅病的病勢則會因UV-B照射影響而降低感染率，且對胞子的存活和發芽有抑制的作用，但對產胞作用與發芽管生長卻無影響(Gunasekera *et al.*, 1997)；葡萄白粉病菌之胞子發芽及菌絲生長會受UV-B抑制(Willocquet *et al.*, 1996)。另有實驗證明近UV光照射下可抑制灰黴病菌產胞(Nicot *et al.*, 1996)。紫外線除影響病原本身外，也會造成植株對病原產生不同的感受性，如水稻葉照射UV可得到植物抑菌素(phytoalexin) oryzalexin E及F、sakuranetin，此物質分別在62.5、103 ppm即可抑制稻熱病菌的胞子發芽(Kato *et al.*, 1993, 1994; Kodama et al., 1992)；柑桔類果樹受到 *Penicillium digitatum* 侵入和熱聯合處理及UV之照射，皆能產生植物抑菌素(phytoalexin)，而UV會降低檸檬樹對病原的感受性(Ben-Yehoshua *et al.*, 1992)；增加紫外線-B使寄主植物之黃酮類化合物(flavonoids)增加，因而提高病害抵抗性(Logemann *et al.*, 1995; Manning *et al.*, 1995)；在UV-B照射下，柑桔能產生非 喃香豆素(nonfuranocoumarin)以防禦病原侵害(Asthana and Tuveson, Asthana *et al.*, 1992, 1993)；UV-C對葡萄抗露菌病之過氧化酵素(peroxidase)含量研究，發現抗病品種有極小的改變(Zapata *et al.*, 1994)；以UV處理葡萄能產生對 *Penicillium digitatum* 的抗性，在處理24-48小時後，可獲得最大抗性，並且發現病菌的產胞會受到抑制，以及葡萄果皮中苯丙氨酸氨基分解酵素(phenylalanine ammonia-lyase)及過氧化酵素(peroxidase)活性增加(Droby *et al.*, 1993)。因此，紫外線對病害的影響，會受到植株品種、株齡、紫外線照射時間、照射量及病原接種量而異(Orth *et al.*, 1990)。

紫外線照射對病原產生變異的效應而言，顯示其能提高病原 *Cryphonectria parasitica* 的異核現象(heterokaryon)及擬有性生殖(parasexuality) (Rizwana and Powell, 1995)，或以UV增加放射菌突變株，可提高對病原 *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* 及 *Pseudomonas syringae* 的抗生能力，能有效抑制胞子發芽、發芽管生長、菌絲生長、產胞作用及細菌菌落數目(El-Abyad *et al.*, 1993, 1996)。

此外，利用可吸收UV光之塑膠布或乙烯基布覆蓋栽培作物時，可降低媒介昆蟲傳播病毒比率(Antignus *et al.*, 1996)，或有效抑制在溫室中的菠菜猝倒病達1/3，尤其在夏季高溫時效果明顯，其中 *Fusarium* spp. 較 *Pythium* spp.及 *Rhizoctonia* spp.所受之抑制顯著(Naito and Honda, 1994)。白葉枯病菌的蛋白磷酸化作用，因UV之照射而受抑制(Huang *et al.*, 1995)；柑桔根腐病菌(Fusarium spp.)及果腐病菌(*Penicillium* spp.)能分別產生類胡蘿蔔素(carotenoids)及藍綠色素而防禦UV-A的傷害。除病原菌外，UV-B對植物葉表菌類及根圈微生物的研究，

顯示植物葉表菌類的分佈及存在量會產生改變，二種葉部酵母菌在UV-B提高下，其量降低，且存於葉表者受影響，較葉背者明顯(Newsham *et al.,* 1997)；而Klironomos等(1995)利用糖槭(sugar maple)研究UV-B會對根圈菌根菌、非菌根菌、細菌及以微生物為食之節肢動物產生影響。

二、臭氧之效應

臭氧(O_3)為溫室效應氣體之一種，一般視為空氣污染物質。臭氧不僅對植物發生直接的負面影響，對於病原和植物之間亦有間接作用，亦即可能提高或降低病原毒力及改變植物體的防禦能力(Violini, 1995)。壞疽性(necrotrophic)病原在臭氧減弱植物抗性下，可加速纏據植株的能力，而絕對寄生性(obligate biotroph)病原反而降低感染機率(Manning *et al.,* 1995)；植株處理O_3會引起類似過敏性反應之活性態氧、H_2O_2和水楊酸(salicylic acid)等量的增加而引發防禦反應，同樣植株亦可得到對*Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* 的抵抗性(Sharma *et al.,* 1996)。有些試驗室及田間試驗所得結果不一致，例如臭氧會增加黃落葉松之根黑染病(black stain)，但松樹根腐病(annosus root rot)之發生則與臭氧無關。三角葉楊樹葉銹病菌(cottonwood leaf rust)在臭氧燻蒸的植株上會增加繁殖；楊樹葉斑病菌*Marssonina brunnea*則不受臭氧之影響。其他如菜豆及洋蔥曝露於臭氧下會增加*Botrytis cinerea*引起之灰黴病；但對洋蔥小菌核頸腐病菌*Botrytis squamosa*無影響(Coakley, 1995)。

三、二氧化碳之效應

二氧化碳可以增加植物冠層(canopy)大小及密度，導致高營養品質生質量(biomass)增大，及微氣象之相對濕度增高。這可能促進銹病(rust)、白粉病(powdery mildew)、葉斑病(leaf spots)、疫病(blights)之發生；同時作物殘體增加使越冬之接種源潛能(inoculum potential)可能大增(Manning *et al.,* 1995)。相反的結果，發現以二氧化碳處理可提高酪梨對炭疽病的抗性，最適處理係於收穫時，立即在20-25℃處理30% CO_2 24小時(Prusky *et al.,* 1991, 1992, 1993)；或在感染virus的燕麥給予多量二氧化碳會造成根量及生物量的增加，推論二氧化碳會影響病毒感染的持續性(Malmstrom and Field, 1997)。

參、對病害發生之影響

一、氣候變遷對作物病害之影響

一般而言，研究氣候變遷對農作物病害的影響，採用統計分析及動態模擬兩種途徑。馬鈴薯病害之影響研究方面，Carter氏等(1996)模擬(simulation)氣候變化對*Phytophthora infestans*之影響；根據1961-90年之氣象資料運算現代氣象條件(climatic condition)及未來條件之情景(scenarios of future condition)然後將結果圖解預測到2050年，在芬蘭(Finland)各地區*P. infestans*發生率會增加；線蟲分佈可向北移動。

1995年Luo氏等報導，以耦合動態模擬研究(coupling of CERES-RICE and BLASTSIM)自5個亞洲國家之53個地點蒐集的日氣象資料，利用農業技術資料轉移支持系統(Agro-technology transfer data support system)中之二個天氣產生式(weather geneators, WGEN及WMAK)，估計每一個地點之日天氣資料數據，藉以模擬全球氣候變遷中溫度變化和紫外線-B對稻熱病流行之效應，並分析最高發病率、病勢進展曲線下面積(AUDPC)及收量損失。在大部分地點，溫度變遷對病勢發展產生效應，會隨不同農業生態區間而呈現變異。在日本及中國北方之冷涼亞熱帶，空氣溫度之提高導致稻熱病發生更高風險；相反的情形，在潮濕溫暖的熱帶，比正常溫度較低之溫度條件下，可使稻熱病更加嚴重。紫外線-B的增強則引起收量損失9-10%，但隨溫度變化而收量損失會有所不同，如在熱帶國家，若溫度比正常還低的情況下，增加紫

外線-B會使稻熱病發展更嚴重。

對穀類真菌性病害之影響研究方面，德國Jahn氏等(1995)報告，在前東德所作長期監測及預測系統所獲得之資料來研究氣候變遷對作物病害之效應，發現理論上增加溫度1或2 K或減少30-60%降雨，可顯著增加穀類銹病(cereal rust),然而卻減少腳腐病(foot rot)及葉枯病(leaf blotch)等病害。同時估計馬鈴薯晚疫病(late blight)亦顯著減少，對禾穀類白粉病之發生則稍微受影響。

1996年Coakley及Scherm報導，環境中數種組成分的改變，可能影響作物生產及病蟲害治理(pest management)。大氣中的成份(composition)尤其是二氧化碳(CO_2)、臭氧(ozone)及紫外線-B輻射(ultraviolet-B radiation)之改變，可影響全球變暖(global warming)及改變降雨型態(precipitation patterns)。這些結果可能導致對病原及植物產生直接間接的效應，並指出要能充分瞭解如何掌握全球氣候變遷對病原及植物病害之影響，須透過作物保護科學及相關科系之研究人員協力合作，始克有成。

Goudriaan及Zadoks(1995)模式研究(modelling)氣候變遷對病蟲害之影響，認為氣候變遷逐步改變農業區時，農作物及有關之病害、雜草均將一齊遷移。並認為二氧化碳及紫外線輻射增射之效應不是很大，而增加二氧化碳會減少作物氮含量，也許會阻礙病害發生。但須審慎評估尚不能驟然下結論。

二、聖嬰現象對作物病害之影響

「聖嬰現象」(El Nino/Southern Oscillation，ENSO)中「聖嬰」源自於西班牙語El Nino，直譯為「艾尼紐」，原意為上帝之子的意思，係指東太平洋赤道附近海面海水溫度明顯升高的現象，現已延伸為太平洋赤道地區廣大海域內海溫異常高溫現象。此現象因常與大氣環流南方振盪(Southern Oscillation)的變化有連帶關係，統稱為聖嬰與南方振盪，簡稱為ENSO，直譯為「恩索」。在平常狀況下，太平洋東部海域從南美洲的厄瓜多爾到秘魯沿岸，由於受到冷洋流和湧升流影響，一般來說，這些海面溫度均比同緯度其他地區之海溫低。然而，上述狀況每隔二至七年會發生變化，異常時海面溫度會突然上升，而後維持一段時間，這種現象常在南半球聖誕節前後發生，當地人稱此現象為「聖嬰」(廖，1995)。這種氣候突變，嚴重時會使全球各地旱澇失常，為全球氣候變異最重要最具特徵的機制。區域性溫度及降雨型態會受ENSO影響，以致影響植物病害之發生，Scherm及Yang (1995) 應用交替波譜分析法(cross-spectral analysis)，探討測定ENSO之南方振盪指數(Southern Oscillation Index, SOI)與中國北方5地區*Puccinia striiformis*引起之小麥條銹病(stripe rust)、美國中西部4個氣候區*P. graminis*引起小麥桿銹病(stem rust)間之聚合率(coherence) 及相(phase)之關係(見表1)。由聚合率(coherence)關係顯示，在ENSO時間尺度特徵下，銹病及SOI數列間之共振(cooscillations)顯著而一致。5種條銹病數列與SOI數列在2.0~3.0年及8.0~10.0年為週期時，有凝聚現象。而3種桿銹病在6.8~8.2年為週期時，有凝聚現象。在相關係(phase relationship)上顯示，大部分情況下，銹病及SOI數列在相外(out of phase)呈互振動，表明其關聯性(association)為間接的。另外分析美國西北更短的(18年)條銹病數列，發現在聖嬰年(warm phase of ENSO)發病率比非聖嬰年或La Nina年(cold phase of the ENSO)顯著更低。雖然此項研究無法推論因果關係，但此分析，鑑定未來在伸展時間尺度下之方法與方向。

Table 1. Phase relationships[a] between time series of wheat rusts in China and the United States and the Southern Oscillation Index[b] (SOI)

Disease and region	Phase angle[c] (radians) 2.0 to 3.0-yr harmonics	6.8 to 8.2-yr harmonics	8.0 to 10.0-yr harmonics
Wheat stripe rust in China[d]			
Gangu	-0.35π	...[e]	-0.47π
Xian	0.86π	...	-0.41π
Xinyang	0.05π	...	-0.46π
Zhengzou	0.83π	...	-0.53π
Beijing	0.83π	...	-0.46π
Wheat stem rust in the U. S.[f]			
Southeast Nebraska[g]	...	...	...
East-central South Dakota[g]	...	-0.06π	...
Southeast Minnesota[g]	...	0.08π	...
Southeast North Dakota	...	-0.41π	...

[a] Phase relationships are shown only for harmonics with significant coherence relationships.
[b] The SOI is expressed as the double-normalized difference in atmospheric pressure anomalies between Tahiti (South Pacific) and Darwin (Australia). The SOI was averaged from March to June and from October to March for analysis with the stripe and stem rust series, respectively.
[c] Negative phase angle: SOI series is leading; positive phase angle: rust series is leading.
[d] Annual values of disease severity from 1950 to 1990.
[e] Coherence between the rust and SOI series not significant at $\alpha=0.10$.
[f] Annual dates for the first appearance of stem rust from 1921 to 1962.
[g] Series was differenced before cross-spectral analysis.

肆、因應策略

氣候變遷，對農作物病害發生、流行、危害將產生一定的影響。至於如何因應未來氣候變遷，根據李淑華氏(1993)之報告，包括下列5項對策。

1.大力推行農業生態防治

適應氣候變暖，合理調整作物、品種布局，充分利用自然因素的調節與控制作用，創造有利農作物生長發育、不利于有害生物滋生繁衍的生態條件是減輕病蟲危害的途徑之一。

2.選育高產優質抗病新品種

根據氣候變暖趨勢，選育高產優質抗病新品種，以適應不同關鍵生育期溫度變化的能力，並且具有更強的抗病能力，從單抗向多抗方向發展。

3.減少越冬菌源

冬季氣候變暖，有利病原越冬，應實施以減少越冬菌源為目的防治戰略對策。

4.發展化學防治

發展高效、低毒、低殘留的農藥新品種、新劑型，合理地使用化學農藥，不僅考慮防治效果，同時應注意其對人畜等的影響，防止環境污染，促進生態平衡。

5.加強對病害預測預報

病害預測預報是作好防治基楚，是實現及時、有效地控制病害、減輕損失、奪取豐收的重要前提。病害測報的準確及時與否，首先取决于大量的田間發生發展動態信息，其次是依賴氣象部門中長期天氣預報的準確性。因此，應加強對病害的監測能力和預報水平。

有關未來研究方向，1988年Coakley 指出有許多因素，包括氣候條件能夠引發病原的突發及蔓延，以致其損失超過忍受程度。在這方面而言，氣候因素可能扮演著掌控引起流行與否的機制角色。因此，今後的研究首應界定(define)調節各種主要糧食作物病原消長之氣候條件(climatic conditions)，俾助於改善氣候變異產生之效應。此外，對羅丹氏補償假說(Rotem's hypothesis of compensation)在氣候上之功用應多予研究；用以決定氣候限制因素(limiting climatic factor)，及鑑定補償因素(compensating factor)；如果病害區域化(zoning)可成形時，宜究明容許病害發生之氣候條件範圍。

在病害統計學的研究上，氣候的變異研究為值得重視的新領域，例如大氣線路分析(atmospheric trajectory analysis)可用來鑑定接種源移動之病原發生區(inoculum source region)；探討改變全球循環型態(global circulation patterns)引起氣候變遷，改變接種原型態及媒介之遷移等。

對熱帶作物病害與氣候變異之數量化關係要加強研究。因為，在熱帶各種作物的病害種類超過溫帶作物，而且注意力遠少於溫帶地區。應長期及定期監測蒐集病害資料，鑑定掌控病勢發展病原區域化的氣候變數。影響媒介與作物病害之氣候要多加研究。CO_2增加對應病原菌之效應也應多加研究。加強建構氣候情景(Climate Scenarios)以顯示區域性和季節性之條件範圍。

伍、結　語

氣候變遷既然由人類活動所產生，造成溫室效應、溫度上升、水文狀態變化、氣流活動增加及紫外線幅射等現象。這些因子對植物、病原和二者間的交感作用皆會產生直接或間接的影響，依目前的研究顯示有引發負面影響或刺激寄主感受性等效應，惟須審慎評估，並透過作物保護科學及相關科系之研究人員協力合作，才可下定論。站在農業生產而言，如何有效利用二氧化碳來提高農作物收穫量或利用臭氧或紫外線處理來增加寄主對病原的抗性。

病害流行方面，氣候變遷造成病害消長現象，因此病害監測及預報工作將有助於掌握動態信息。同時農業區的遷移，將帶動寄主、病原、雜草及媒介一同搬移，使得生態相發生變動，如何因應此種改變，有賴推行農業生態防治、選育高產優質抗病新品種等策略。整體而言，如何維持生態系的平衡，使生物相得以多樣化，農業生產能持續發展，將未來氣候變遷對農業生產的衝擊降至最低，實為當務之急。

陸、引用文獻

丁連財 廖志翔等. 1995. 現代用語百科。書泉書局出版。

李淑華. 1993. 氣候變暖對農作物病蟲害的影響。趙學范編〝氣候變化對農業影響及其對策〞p.271-283。北京大學出版社發行。

李潤海. 1982. 中國農業史話。明文書局出版。

黃益田. 1994. 台灣西北區之氣象因素對水稻白葉枯病盛行率之影響。桃園區農業改良場研究報告19:27-34。

黃益田. 1997. 氣象資料在水稻病害發生預測之應用。p.89-106. 氣象因子與病蟲害發生研討會專輯 。

劉昭民. 1992. 中國歷史上氣候之變遷。台灣商務印書館出版。

謝式坢鈺 梁文進. 1978. 稻熱病菌感染前之行為。p.199-212. 邱人璋主編水稻病蟲害：生態學與流行學。

大 正諄 大正十年。稻作豐凶二關スルスル研究。日本 東京 成美堂書店發行。

日本農業氣象學會. 1994. 平成の大凶作。日本農林統計協會發行。

Antignus, Y. N. Mor, R. B. Joseph, M. Lapidot and S. Cohen. 1996. Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insects. Environmental Entomology 25(5): 919-924.

Asthana, A., E. S. McCloud, M. R. Berenbaum and R. W. Tuveson. 1993. Phototoxicity of Citrus jambhiri to fungi under enhanced UV-B radiation: role of furanocoumarins. Journal of Chemical Ecology vol. 19(12): 2813-2830.

Asthana, A. and R. W. Tuveson. 1992. Effects of UV and phototoxins on selected fungal pathogens of citrus. International Journal of Plant Sciences vol. 153(3,I): 442-452.

Ben-Yehoshua, S., V. Rodov, J. J. Kim and S. Carmeli. 1992. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. Journal of Agricultural and Food Chemistry 40(7): 1217-1221.

Bruck, R. I. and S. R. Shafer. 1991. A role for plant pathologist in global climate change research. Plant Disease/May: 437.

Cartor, T. R., M. Nurro and S. Torkko. 1996. Global climate change and agriculture in the North. Agricultural and Food Science in Finland vol. 5(3): 223-385.

Carter, T. R., R. A. Sarrikko and K. J. Niemi. 1996. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. Agricultural and Food Science in Finland. 5(3): 329-350.

Clifford, B. C., A. Davies and G. Griffith. 1996. UK climate change models to predict crop disease and pests threats. Aspects of Applied Biology (No. 45): 269-276.

Coakley, S. M. 1995. Biospheric change: will it matter in plant pathology. Canadian Journal of Plant Pathology 17(2): 147-153.

Coakley, S. M. 1998. Variation in climate and prediction of disease in plants. Ann. Rev. Phytopathol. 26: 163-81.

Coakley, S. M., L. R. McDaniel and R. F. Line. 1988. Quantifying how climatic factors affect variation in plant disease severity: a general method using a new way to analyze meteorological data. Climatic Change 12: 157-75.

Coakley, S. M. and Scherm, H. 1996. Plant disease in a changing global environment. Aspects of Applied Biology (No. 45): 227-238.

Colhoun, J. 1973. Effects of environmental factors on plant disease. Annu. Rev. Phytopathol. 11: 343-64.

Droby, S., E. Chalutz, B. Horev, L. Cohen, V. Gaba, C. L. Wilson and M. Wisniewski. 1993. Factors affecting UV-induced resistance in grapefruit against the green mould decay caused by *Penicillium digitatum*. Plant Pathogogy 42(3): 418-424.

El-Abyad, M. S., M. A. El-Sayed, A. R. El-Shanshoury and N. H. El-Batanouny. 1993. Inhibitory effects of UV mutants of *Streptomyces corchorusii* and *Streptomyces spiroverticillatus* on bean

and banana wilt pathogens. Canadian Journal of Botany 71(8): 108 0-1086.

El-Abyad, M. S., M. A. El-Sayed, A. R. El-Shanshoury and N. H. El-Batanouny. 1996. Effect of culture conditions on the antimicrobial activities of bean and banana wilt pathogens. Microbiological Research 151(2): 201-211.

Finckh, M. R., A. Q. Chavez, Q. Dai and P. S. Teng. S. 1995. Effects of enhanced UV-B radiation on the growth of rice and its susceptibility to rice blast under glasshouse conditions. Agriculture, Ecosystems & Environment 52(2-3): 223 -233.

Gao, L. Z. and Z. Q. Lin. 1994. Global climate change and China's agriculture. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences 10(2): 1-10.

Goudriaan, J. and J. C. Zadoks. 1995. Global climate changes: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. Environmental Pollution. 87(2): 215-224.

Gunasekera, T. S., N. D. Paul and P. G. Ayres. 1997. The effects of ultraviolet-B (UV-B: 290-320 nm) radiation on blister blight disease of tea (*Camellia sinensis*). Plant Pathology 46(2): 179-185.

Hardwick, N. V., A. C. Armstrong, S. A. Ellis, P. Gladders, D. J. Yarham and N. E. Parker. 1996. The impact of climate change on crop pests and diseases. Aspects of Applied Biology (No. 45): 261-268.

Huang, H. J., S. H. Lin, B. C. Yang, C. M. Cheng, C. C. Yang and T. T. Kuo. 1995. Rapid inhibition of protein histidine phosphorylation by UV-irradiation in *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae.* FEMS Microbiology Letters 134(2/3): 189-194.

Huang, Y. T. 1980. Some epidemiological studies on rice blast disease in Taiwan. Plant Prot. Bull. (Taiwan, R. O. C.) 22: 153-181.

Jahn, M., B. Freier and E. Kluge, 1995. The influence of climatic variations on the phytosanitary situation in the field of agriculture. Forsten. Reihe A, Angewandte Wissenschaft (No. 442): 81-92.

Jahn, M., E. Kluge and S. Enzian. 1996. Influence of climate diversity on fungal diseases on field crops-evaluation of long-term monitoring data. Aspects of Applied Biology (No. 45): 247-252.

Jeger, M. J. 1987. Meteorology and plant disease. In Int. Conf. on Agrometeorology, ed. F. Prodi, F. Rostsi, G. Cristoferi. pp. 255-76. Cescna, Italy: Fondazione Cesena Agric Public.

Kato, H., O. Kodama and T. Akatsuka. 1993. Oryzalexin E, a diterpene phytoalexin from UV-irradiated rice leaves. Phytochemistry 33(1): 79-81.

Kato, H., O. Kodama T. Akatsuka. 1994. Oryzalexin F, a diterpene phytoalexin from UV-irradiated rice leaves. Phytochemistry 36(2): 299-301.

Klironomos, J. N. and M. F. Allen. 1995. UV -B-mediated changes on below-ground communities associated with the roots of Acer saccharum. Functional Ecology 9(6): 923-930.

Kodama, O., J. Miyakawa, T. Akatsuka and S. Kiyosawa. 1992. Sakuranetin, a flavanone phytoalexin from ultraviolet-irradiated rice leaves. Phytochemistry 31(11): 3807-3809.

LebaiJuri, M., I. Bahari, R. Lieberei and M. Omar. 1997. The effects of X-ray, UV, temperature and sterilants on the survival of fungal conidia, *Microcyclus*

ulei, a blight of Hevea rubber. Tropical Science 37(2): 92-98.

Leung, H., D. Christian, P. Loomis and N. Bandian. 1995. Effects of ultraviolet-B irradiation on spore viability, sporulation, and mutation of the rice-blast fungus. In Climate Change and Rice. S. Peng, ed. p.158-168. Berlin: Springer-Verlag.

Li, S. 1992. The trend prospect and the impact of the effects of climatic change on plant diseases and insect pests occurrence and prevalence in China. Agricultural Meteorogy 13(2): 46-49.

Logemann, E., C. Wu, J. Schroder, E. Schmelzer, I. E. Somssich and K. Hahlbrock. 1995. Gene activation by UV light, fungal elicitor or fungal infection in *Petroselinum crispum* is correlated with repression of cell cycle-related genes. Plant Journal 8(6): 865-876.

Luo, Y., D. Q. Tebeest, P. S. Teng and N. G. Fabellar. 1995. Simulation studies on risk analysis of rice leaf blast epidemics associated with global climate change in several Asian countries. Journal of Biogeography 22(4/5): 673-678.

Malmstrom, C. M. and C. B. Field. 1997. Virus-induced differences in the response of oat plants to elevated carbon dioxide. Plant, Cell and Environment 20(2): 178-188.

Manning, W. J. and A. V. Tiedemann. 1995. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO_2), ozone (O_3), and ultraviolet-B radiation on plant diseases. Environmental Pollution 88(2): 219-245.

Naito, Y. and Y. Honda. 1994. Control of damping-off of spinach with ultraviolet-absorbing vinyl film. Bulletin of the Faculty of Agriculture, Shimane University (No. 28): 37-43.

Nicot, P. C., M. Mermier, B. E. Vaissiere and J. Lagier. 1996. Differential spore production by *Botrytis cinerea* on agar medium and plant tissue under near-ultraviolet light-absorbing polyethylene film. Plant Disease 80(5): 555-558.

Newsham, K. K., M. N. R. Low, A. R. McLeod, P. D. Greenslade and B. A. Emmett. 1997. Ultraviolet-B radiation influences the abundance and distribution of phylloplane fungi on pedunculate oak (Quercus robur). New Phytologist 136 (2): 287-297.

Olszyk, D., O. Dai, P. Teng, H. Leung, Y. Luo and S. B. Peng. 1996. UV-B effects on crops: response of the irrigated rice ecosystem. Journal of Plant Physiology 148(1/2): 26-34.

Orth, A. B., A. H. Teramura and H. D. Sisler. 1990. Effects of ultraviolet-B radiation on fungal disease development in *Cucumis sativus.* American Journal of Botany 77(9): 1188-1192.

Prusky, D., I. Kobiler, R. Ardi and Y. Fishman. 1993. Induction of resistance of avocado fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* attack by CO_2 treatment. Acta Horticulturae (No. 343): 325-330.

Prusky, D., R. A. Plumbley and I. Kobiler. 1991. Modulation of natural resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides* by CO_2 treatment. Physiological and Molecular Plant Pathology vol. 39(5): 325-334.

Prusky, D., R. A. Plumbley, I. Kobiler, G. Zauberman and Y. Fuchs. 1993. The effect of elevated CO_2 levels on the symptom expression of *Colletotrichum*

gloeosporioides on avocado fruits. Plant Pathology 42(6): 900-904.

Rizwana, R. and W. A. Powell. 1995. Ultraviolet light-induced heterokaryon formation and parasexuality in *Cryphonectria parasitica*. Experimental Mycology 19 (1): 48-60.

Rotem, J. 1978. Climatic and weather influences on epidemics. *In*: Plant Disease: Advanced Treatise, ed. J. G. Horsfall, E. B. Cowling. 2: 317-37. New York: Academic.

Sawada, K. 1935. The forecasting of the epidemic of the rice blast disease in the following year and the suitable management. Formosan Agr. Rev. 31: 1058-1068.

Scherm, H. and X. B. Yang. 1995. Interannual variations in wheat rust development in China and the United States in relation to the El Nino/Southern Oscillation. Phytopathology 85(9): 970-976.

Schrodter, H. 1975. Weather and plant disease. In Progress in Biometeorology. The Effect of Weather and Climate on Plants. ed. L. P. Smith. 1: 279-86.

Sharma, Y. K., J. Leon, I. Raskin and K. Davis. 1996. Ozone-induced responses in Arabidopsis thaliana: the role of salicylic acid in the accumulation of defense -related transcripts and induced resistance. Proceedings of the National Academy of Sciences o f the United States of America 93(10): 5099-5104.

Violini, G. 1995. Ozone and plant pathogens: an overview. Rivista di Patologia Vegetale 5(3): 113-130.

Willocquet, L., D. Colombet, M. Rougier, J. Fargues and M. Clerjeau. 1996. Effects of radiation, especially ultraviolet B, on conidial germination and mycelial growth of grape powdery mildew. European Journal of Plant Pathology 102(5): 441-449.

Zapata, J. M., A. A. Calderon, M. A. Pedreno, R. Munoz and A. Ros Barcelo. 1994. Effect of UV-C on peroxidase isoenzymes in axillary bud cultures of Vitis species differing in fungal resistance to *Plasmopara viticola*. Biologia Plantarum 36(1): 133-138 .

The Impact of Global Climate Change on Plant Diseases and Corresponding Strategies

Yih-tyang Huang and Shu-fen Shiau
Taoyuan District Agricultural Improvement Station
Taiwan Provincial Department of Agriculture and Forestry

ABSTRACT

This paper reviews the literatures associated with the effects of individual climate change factors, carbon dioxide(CO_2), ozone(O_3) and solar ultraviolet-B(UV-B) on the plant pathogens, and simulation studies on the effect of global climate change on plant disease epidemics. The climate change factors, CO_2, O_3 and UV-B, have direct biological effects on plants. Such effects may directly or indirectly affect the incidence and severity of plant diseases, caused by biotic agents. Ultraviolet-B radiation may affect spore viability and sporulation of plant pathogens. It enhances the mutant effects and alteration of physiological response of host plants, and results in alterations of disease susceptibility of host plants. Little is known about the actual impact of climate change factors on disease epidemics. Some simulation studies indicated that effects of climate change on disease development, such as rice blast epidemics, varied between different agroecological zones. The coherence relationships was observed between the rust and Southern Oscillation Index series. The reviews also focus on the need for further research on the impact of climate change on plant diseases and their management.

Key words: Global climate change, Plant diseases, Corresponding strategies.